

PLASMA PROCESSOR

Publication number: JP2002299240 (A)

Publication date: 2002-10-11

Inventor(s): OMI TADAHIRO; HIRAYAMA MASAKI; SUGAWA SHIGETOSHI; GOTO TETSUYA

Applicant(s): OMI TADAHIRO; TOKYO ELECTRON LTD

Classification:

- international: H05H1/46; B01J19/08; C23C16/511; H01J37/32; H01L21/205; H01L21/302; H01L21/3065; H05H1/46; B01J19/08; C23C16/50; H01J37/32; H01L21/02; (IPC1-7): H01L21/205; B01J19/08; C23C16/511; H01L21/3065; H05H1/46

- European: H01J37/32H3B; H01J37/32D2; H01J37/32H3

Application number: JP20010094275 20010328

Priority number(s): JP20010094275 20010328

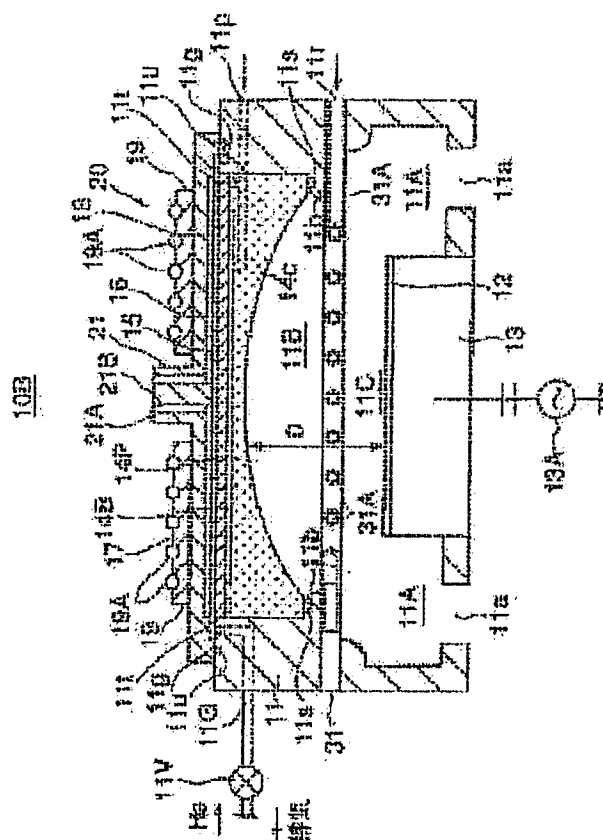
Also published as:

EP1376670 (A1)
EP1376670 (A4)
US2004094094 (A1)
WO02080252 (A1)
CN101005011 (A)

more >>

Abstract of JP 2002299240 (A)

PROBLEM TO BE SOLVED: To compensate the reduction of a plasma density on the periphery of a substrate processed by a microwave plasma processor. **SOLUTION:** A shower plate or a plasma permeable window facing a substrate to be processed has a concave surface facing the substrate.



Data supplied from the esp@cenet database — Worldwide

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-299240

(P2002-299240A)

(43) 公開日 平成14年10月11日 (2002. 10. 11)

| (51) Int.Cl. ⁷ | 識別記号 | FI | テーマコード(参考) |
|------------------------------|------|-------------|------------|
| H01L 21/205 | | H01L 21/205 | 4G075 |
| B01J 19/08 | | B01J 19/08 | H 4K030 |
| C23C 16/511 | | C23C 16/511 | 5F004 |
| H01L 21/3065 | | H05H 1/46 | B 5F045 |
| H05H 1/46 | | H01L 21/302 | B |
| 審査請求 未請求 請求項の数21 OL (全 13 頁) | | | |

(21) 出願番号 特願2001-94275(P2001-94275)

(22) 出願日 平成13年3月28日 (2001. 3. 28)

(71) 出願人 000205041

大見 忠弘

宮城県仙台市青葉区米ヶ袋2-1-17-301

(71) 出願人 000219967

東京エレクトロン株式会社

東京都港区赤坂5丁目3番6号

(72) 発明者 大見 忠弘

宮城県仙台市青葉区米ヶ袋2-1-17-301

(74) 代理人 100070150

弁理士 伊東 忠彦

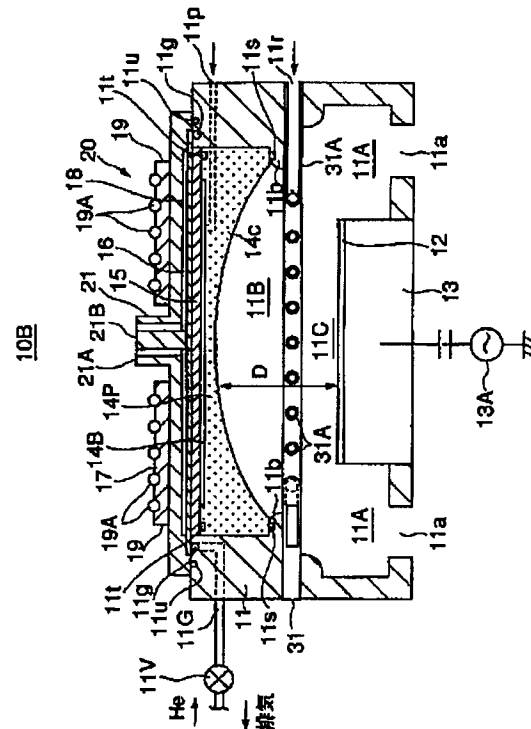
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマ処理装置

(57) 【要約】

【課題】 マイクロ波プラズマ処理装置において、被処理基板周辺部でのプラズマ密度の低下を補償する。

【解決手段】 被処理基板に対面するシャワープレートあるいはプラズマ透過窓の、前記被処理基板に対面する側を凹面形状とする。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 外壁により画成され、被処理基板を保持する保持台を備えた処理容器と、
前記処理容器に結合された排気系と、
前記処理容器上に、前記保持台上の被処理基板に対面するように、前記外壁の一部として設けられたマイクロ波透過窓と、
前記処理容器中にプラズマガスを供給するプラズマガス供給部と、
前記処理容器上に、前記マイクロ波に対応して設けられたマイクロ波アンテナとよりなり、
前記マイクロ波透過窓は、前記被処理基板と対面する側の内面が、前記被処理基板表面に一致する平面との間の間隔が、前記マイクロ波透過窓の径方向外側に向って減少する凹面形状を有することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 2】 前記間隔は、前記マイクロ波透過窓の径方向外側に向って連続的に減少することを特徴とする請求項 1 記載のプラズマ処理装置。

【請求項 3】 前記間隔は、前記マイクロ波透過窓の径方向外側に向って滑らかに減少することを特徴とする請求項 2 記載のプラズマ処理装置。

【請求項 4】 前記間隔は、前記マイクロ波透過窓の径方向外側に向って直線的に減少することを特徴とする請求項 2 または 3 記載のプラズマ処理装置。

【請求項 5】 前記間隔は、前記マイクロ波透過窓の径方向外側に向って非直線的に減少することを特徴とする請求項 2 または 3 記載のプラズマ処理装置。

【請求項 6】 前記間隔は、前記マイクロ波透過窓の径方向外側に向って階段状に減少することを特徴とする請求項 1 記載のプラズマ処理装置。

【請求項 7】 前記間隔は、前記マイクロ波透過窓の周辺部においてのみ、前記マイクロ波透過窓の径方向外側に向って減少することを特徴とする請求項 1 記載のプラズマ処理装置。

【請求項 8】 前記マイクロ波透過窓は、前記内面に対向する外面が、平坦面よりなることを特徴とする請求項 1～7 のうち、いずれか一項記載のプラズマ処理装置。

【請求項 9】 前記マイクロ波透過窓は、内部にプラズマガス通路を有し、前記処理容器中にプラズマガスを放出する前記プラズマガス供給部を構成することを特徴とする請求項 1～8 のうち、いずれか一項記載のプラズマ処理装置。

【請求項 10】 前記マイクロ波透過窓は、前記プラズマガス通路に連通する複数の開口部を有することを特徴とする請求項 9 記載のプラズマ処理装置。

【請求項 11】 マイクロ波透過窓は、前記処理容器の外壁の一部を構成するカバープレートと、前記カバープレートに密接して設けられ、前記プラズマガス通路とこれに連通する複数の開口部とを有するシャワープレート

よりなることを特徴とする請求項 10 記載のプラズマ処理装置。

【請求項 12】 前記マイクロ波透過窓は緻密なセラミックよりなることを特徴とする請求項 10 または 11 記載のプラズマ処理装置。

【請求項 13】 前記マイクロ波透過窓は、多孔質媒体より構成されることを特徴とする請求項 9 記載のプラズマ処理装置。

【請求項 14】 前記マイクロ波透過窓は、前記処理容器の一部を構成するカバープレートと、前記カバープレートに密接して設けられた多孔質媒体よりなるシャワープレートとよりなることを特徴とする請求項 9 記載のプラズマ処理装置。

【請求項 15】 前記多孔質媒体は、焼結セラミックよりなることを特徴とする請求項 13 または 14 記載のプラズマ処理装置。

【請求項 16】 前記プラズマガス供給部は、前記処理容器外壁に形成された、プラズマガス源に接続可能な管よりなることを特徴とする請求項 1～8 のうち、いずれか一項記載のプラズマ処理装置。

【請求項 17】 前記マイクロ波透過窓は、緻密なセラミックよりなることを特徴とする請求項 16 記載のプラズマ処理装置。

【請求項 18】 さらに、前記被処理基板と前記プラズマガス源との間に、処理ガス供給部を設けたことを特徴とする請求項 1～17 のうち、いずれか一項記載のプラズマ処理装置。

【請求項 19】 前記処理ガス供給部は、プラズマを通過させるプラズマ通路と、処理ガス源に接続可能な処理ガス通路と、前記処理ガス通路に連通した多数のノズル開口部とを有することを特徴とする請求項 18 記載のプラズマ処理装置。

【請求項 20】 さらに前記保持台に接続された高周波電源を含むことを特徴とする請求項 1～19 のうち、いずれか一項記載のプラズマ処理装置。

【請求項 21】 前記マイクロ波アンテナはラジアルラインスロットアンテナよりなることを特徴とする請求項 1～20 のうち、いずれか一項記載のプラズマ処理装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は一般にプラズマ処理装置に係わり、特にマイクロ波プラズマ処理装置に関する。

【0002】 プラズマ処理工程およびプラズマ処理装置は、近年のいわゆるディープサブミクロン素子あるいはディープサブクォーターミクロン素子と呼ばれる 0.1 μm に近い、あるいはそれ以下のゲート長を有する超微細化半導体装置の製造や、液晶表示装置を含む高解像度平面表示装置の製造にとって、不可欠の技術である。

【0003】半導体装置や液晶表示装置の製造に使われるプラズマ処理装置としては、従来より様々なプラズマの励起方式が使われているが、特に平行平板型高周波励起プラズマ処理装置あるいは誘導結合型プラズマ処理装置が一般的である。しかしこれら従来のプラズマ処理装置は、プラズマ形成が不均一であり、電子密度の高い領域が限定されているため大きな処理速度すなわちスループットで被処理基板全面にわたり均一なプロセスを行うのが困難である問題点を有している。この問題は、特に大径の基板を処理する場合に深刻になる。しかもこれら従来のプラズマ処理装置では、電子温度が高いため被処理基板上に形成される半導体素子にダメージが生じ、また処理室壁のスパッタリングによる金属汚染が大きいなど、いくつかの本質的な問題を有している。このため、従来のプラズマ処理装置では、半導体装置や液晶表示装置のさらなる微細化およびさらなる生産性の向上に対する厳しい要求を満たすことが困難になりつつある。

【0004】一方、従来より直流磁場を用いずにマイクロ波電界により励起された高密度プラズマを使うマイクロ波プラズマ処理装置が提案されている。例えば、均一なマイクロ波を発生するように配列された多数のスロットを有する平面状のアンテナ（ラジアルラインスロットアンテナ）から処理容器内にマイクロ波を放射し、このマイクロ波電界により真空容器内のガスを電離してプラズマを励起させる構成のプラズマ処理装置が提案されている。例えば特開平9-63793公報を参照。このような手法で励起されたマイクロ波プラズマではアンテナ直下の広い領域にわたって高いプラズマ密度を実現でき、短時間で均一なプラズマ処理を行うことが可能である。しかもかかる手法で形成されたマイクロ波プラズマではマイクロ波によりプラズマを励起するため電子温度が低く、被処理基板のダメージや金属汚染を回避することができる。さらに大面積基板上にも均一なプラズマを容易に励起できるため、大口径半導体基板を使った半導体装置の製造工程や大型液晶表示装置の製造にも容易に対応できる。

【0005】

【従来の技術】図1（A）、（B）は、かかるラジアルラインスロットアンテナを使った従来のマイクロ波プラズマ処理装置100の構成を示す。ただし図1（A）はマイクロ波プラズマ処理装置100の断面図を、また図1（B）はラジアルラインスロットアンテナの構成を示す図である。

【0006】図1（A）を参照するに、マイクロ波プラズマ処理装置100は複数の排気ポート116から排気される処理室101を有し、前記処理室101中には被処理基板114を保持する保持台115が形成されている。前記処理室101の均一な排気を実現するため、前記保持台115の周囲にはリング状に空間101Aが形成されており、前記複数の排気ポート116を前記空間

101Aに連通するように等間隔で、すなわち被処理基板に対して軸対称に形成することにより、前記処理室101を前記空間101Aおよび排気ポート116を介して均一に排気することができる。

【0007】前記処理室101上には、前記保持台115上の被処理基板114に対応する位置に、前記処理室101の外壁の一部として、低損失誘電体よりなり多数の開口部107を形成された板状のシャワープレート103がシールリング109を介して形成されており、さらに前記シャワープレート103の外側に同じく低損失誘電体よりなるカバープレート102が、別のシールリング108を介して設けられている。

【0008】前記シャワープレート103にはその上面にプラズマガスの通路104が形成されており、前記複数の開口部107の各々は前記プラズマガス通路104に連通するように形成されている。さらに、前記シャワープレート103の内部には、前記処理容器101の外壁に設けられたプラズマガス供給ポート105に連通するプラズマガスの供給通路108が形成されており、前記プラズマガス供給ポート105に供給されたArやKr等のプラズマガスは、前記供給通路108から前記通路104を介して前記開口部107に供給され、前記開口部107から前記処理容器101内部の前記シャワープレート103直下の空間101Bに、実質的に一様な濃度で放出される。

【0009】前記処理容器101上には、さらに前記カバープレート102の外側に、前記カバープレート102から4～5mm離間して、図1（B）に示す放射面を有するラジアルラインスロットアンテナ110が設けられている。前記ラジアルラインスロットアンテナ110は外部のマイクロ波源（図示せず）に同軸導波管110Aを介して接続されており、前記マイクロ波源からのマイクロ波により、前記空間101Bに放出されたプラズマガスを励起する。前記カバープレート102とラジアルラインスロットアンテナ110の放射面との間の隙間は大气により充填されている。

【0010】前記ラジアルラインスロットアンテナ110は、前記同軸導波管110Aの外側導波管に接続された平坦なディスク状のアンテナ本体110Bと、前記アンテナ本体110Bの開口部に形成された、図1（B）に示す多数のスロット110aおよびこれに直交する多数のスロット110bを形成された放射板110Cとよりなり、前記アンテナ本体110Bと前記放射板110Cとの間には、厚さが一定の誘電体板よりなる遅相板110Dが挿入されている。

【0011】かかる構成のラジアルラインスロットアンテナ110では、前記同軸導波管110Aから給電されたマイクロ波は、前記ディスク状のアンテナ本体110Bと放射板110Cとの間を、半径方向に広がりながら進行するが、その際に前記遅相板110Dの作用により波

長が圧縮される。そこで、このようにして半径方向に進行するマイクロ波の波長に対応して前記スロット 110 a および 110 b を同心円状に、かつ相互に直交するように形成しておくことにより、円偏波を有する平面波を前記放射板 110 C に実質的に垂直な方向に放射することができる。

【0012】かかるラジアルラインスロットアンテナ 110 を使うことにより、前記シャワープレート 103 直下の空間 101 B に均一な高密度プラズマが形成される。このようにして形成された高密度プラズマは電子温度が低く、そのため被処理基板 114 にダメージが生じることがなく、また処理容器 101 の器壁のスパッタリングに起因する金属汚染が生じることもない。

【0013】図 1 のプラズマ処理装置 100 では、さらに前記処理容器 101 中、前記シャワープレート 103 と被処理基板 114 との間に、外部の処理ガス源（図示せず）から前記処理容器 101 中に形成された処理ガス通路 112 を介して処理ガスを供給する多数のノズル 113 を形成された導体構造物 111 が形成されており、前記ノズル 113 の各々は、供給された処理ガスを、前記導体構造物 111 と被処理基板 114 との間の空間 101 C に放出する。前記導体構造物 111 には、前記隣接するノズル 113 と 113 との間に、前記空間 101 B において形成されたプラズマを前記空間 101 B から前記空間 101 C に拡散により、効率よく通過させるような大きさの開口部が形成されている。

【0014】そこで、このように前記導体構造物 111 から前記ノズル 113 を介して処理ガスを前記空間 101 C に放出した場合、放出された処理ガスは前記空間 101 B において形成された高密度プラズマにより励起され、前記被処理基板 114 上に、一様なプラズマ処理が、効率的かつ高速に、しかも基板および基板上の素子構造を損傷させることなく、また基板を汚染することなく行われる。一方前記ラジアルラインスロットアンテナ 110 から放射されたマイクロ波は、かかる導体構造物 111 により阻止され、被処理基板 114 を損傷させることはない。

【0015】

【発明が解決しようとする課題】ところで図 1 (A), (B) の従来のプラズマ処理装置 100 では、前記シャワープレート 103 と被処理基板 114 との間の間隔が狭いため、前記空間 101 B および 101 C にはシャワープレート 103 の径方向への連続的で安定なプラズマ流が形成され、前記被処理基板 114 が大口径基板であっても非常に均一なプラズマ処理が可能になるが、一方で前記処理容器 101 内の圧力が低下した場合、特にシャワープレート 103 の周辺部においてプラズマ密度が低下しやすい問題が生じる。例えば処理容器 101 内の圧力が A_r 雰囲気中で 300 mTorr 以下に低下した場合、シャワープレート 103 の周辺部においてプラズ

マ密度が大きく低下する。これは処理容器 101 内の圧力が低下した場合、解離した電子の拡散が促進され、処理容器 101 の内壁面で消滅することに起因するものと考えられる。プラズマのカットオフ密度は $7.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ であるため、プラズマ密度がかかるカットオフ密度以下に低下するとプラズマを維持することができなくなる。かかるシャワープレート 103 周辺部におけるプラズマ密度の低下は、処理速度の低下を招くだけでなく、マイクロ波が被処理基板 114 に直接に印加されてしまい、損傷を誘起してしまう問題を生じる。

【0016】そこで、本発明は従来の課題を解決した新規で有用なプラズマ処理装置を提供することを概括的課題とする。

【0017】本発明のより具体的な課題は、低い処理圧においても被処理基板表面全体にわたり均一な処理が可能なプラズマ処理装置を提供することにある。

【0018】

【課題を解決するための手段】本発明は上記の課題を、請求項 1 に記載したように、外壁により画成され、被処理基板を保持する保持台を備えた処理容器と、前記処理容器に結合された排気系と、前記処理容器上に、前記保持台上の被処理基板に対面するように、前記外壁の一部として設けられたマイクロ波透過窓と、前記処理容器中にプラズマガスを供給するプラズマガス供給部と、前記処理容器上に、前記マイクロ波に対応して設けられたマイクロ波アンテナとよりなり、前記マイクロ波透過窓は、前記被処理基板と対面する側の内面が、前記被処理基板表面に一致する平面との間の間隔が、前記マイクロ波透過窓の径方向外側に向って減少する凹面形状を有することを特徴とするプラズマ処理装置により、または請求項 2 に記載したように、前記間隔は、前記マイクロ波透過窓の径方向外側に向って連続的に減少することを特徴とする請求項 1 記載のプラズマ処理装置により、または請求項 3 に記載したように、前記間隔は、前記マイクロ波透過窓の径方向外側に向って滑らかに減少することを特徴とする請求項 2 記載のプラズマ処理装置により、または請求項 4 に記載したように、前記間隔は、前記マイクロ波透過窓の径方向外側に向って直線的に減少することを特徴とする請求項 2 または 3 記載のプラズマ処理装置により、または請求項 5 に記載したように、前記間隔は、前記マイクロ波透過窓の径方向外側に向って非直線的に減少することを特徴とする請求項 2 または 3 記載のプラズマ処理装置により、または請求項 6 に記載したように、前記間隔は、前記マイクロ波透過窓の径方向外側に向って階段状に減少することを特徴とする請求項 1 記載のプラズマ処理装置により、または請求項 7 に記載したように、前記間隔は、前記マイクロ波透過窓の周辺部においてのみ、前記マイクロ波透過窓の径方向外側に向って減少することを特徴とする請求項 1 記載のプラズマ処理装置により、または請求項 8 に記載したように、

前記マイクロ波透過窓は、前記内面に対向する外面が平坦面よりなることを特徴とする請求項1～7のうち、いずれか一項記載のプラズマ処理装置により、または請求項9に記載したように、前記マイクロ波透過窓は、内部にプラズマガス通路を有し、前記処理容器中にプラズマガスを放出する前記プラズマガス供給部を構成することを特徴とする請求項1～8のうち、いずれか一項記載のプラズマ処理装置により、または請求項10に記載したように、前記マイクロ波透過窓は、前記プラズマガス通路に連通する複数の開口部を有することを特徴とする請求項9記載のプラズマ処理装置により、または請求項11に記載したように、マイクロ波透過窓は、前記処理容器の外壁の一部を構成するカバープレートと、前記カバープレートに密接して設けられ、前記プラズマガス通路とこれに連通する複数の開口部とを有するシャワープレートよりなることを特徴とする請求項9記載のプラズマ処理装置により、または請求項12に記載したように、前記マイクロ波透過窓は緻密なセラミックよりなることを特徴とする請求項8または11記載のプラズマ処理装置により、または請求項13に記載したように、前記マイクロ波透過窓は、多孔質媒体より構成されることを特徴とする請求項9記載のプラズマ処理装置により、または請求項14に記載したように、前記マイクロ波透過窓は、前記処理容器の一部を構成するカバープレートと、前記カバープレートに密接して設けられた多孔質媒体よりなるシャワープレートとよりなることを特徴とする請求項9記載のプラズマ処理装置により、または請求項15に記載したように、前記多孔質媒体は、焼結セラミックよりなることを特徴とする請求項13または14記載のプラズマ処理装置により、または請求項16に記載したように、前記プラズマガス供給部は、前記処理容器外壁に形成された、プラズマガス源に接続可能な管よりなることを特徴とする請求項1～8のうち、いずれか一項記載のプラズマ処理装置により、または請求項17に記載したように、前記マイクロ波透過窓は、緻密なセラミックよりなることを特徴とする請求項16記載のプラズマ処理装置により、または請求項18に記載したように、さらに、前記被処理基板と前記プラズマガス源との間に、処理ガス供給部を設けたことを特徴とする請求項1～17のうち、いずれか一項記載のプラズマ処理装置により、または請求項19に記載したように、前記処理ガス供給部は、プラズマを通過させるプラズマ通路と、処理ガス源に接続可能な処理ガス通路と、前記処理ガス通路に連通した多数のノズル開口部とを有することを特徴とする請求項18記載のプラズマ処理装置により、または請求項20に記載したように、さらに前記保持台に接続された高周波電源を含むことを特徴とする請求項1～19のうち、いずれか一項記載のプラズマ処理装置により、または請求項21に記載したように、前記マイクロ波アンテナはラジアルラインスロットアンテナよりな

ることを特徴とする請求項1～20のうち、いずれか一項記載のプラズマ処理装置により、解決する。

【作用】本発明によれば、前記シャワープレートの被処理基板に対面する側に凹面を形成することにより、被処理基板周辺部において高密度プラズマが形成されるシャワープレート下面と被処理基板表面との間の間隔が減少し、シャワープレート周辺部におけるプラズマ密度の低下が補償される。その結果、エッチングなど低圧におけるプラズマ処理を行った場合にも被処理基板表面近傍において安定で均一なプラズマが維持される。またかかる構成により、プラズマの着火も促進される。かかる凹面形成によるプラズマの安定化は、被処理基板とプラズマガス供給部の間に処理ガス供給部を設けた構成のみならず、処理ガス供給部を省略した構成に対しても適用可能である。

【0019】かかる凹面を有するシャワープレートとしては、プラズマガス通路とこれに連通した多数の開口部を形成された緻密なセラミック部材を使うことが可能であるが、前記緻密なセラミック部材の代わりに多孔質セラミック部材を使うことも可能である。これらのシャワープレートは、処理容器外壁の一部をなしプラズマ透過窓を構成する緻密なカバープレートに密接して設けられるが、本発明においてはさらにマイクロ波透過窓自体に前記凹部を形成し、プラズマガスを別途、シャワープレートを使わずに、管などにより前記処理室中に導入することも可能である。

【0020】本発明によるシャワープレートあるいはマイクロ波透過窓では、前記凹面をなす内面に対向する外面が平坦面であると、マイクロ波アンテナとの密着が容易に確保でき、アンテナを介したシャワープレートの冷却が可能となるため有利である。

【0021】

【発明の実施の形態】〔第1実施例〕図2(A)、

(B)は、本発明の第1実施例によるマイクロ波プラズマ処理装置10の構成を示す。

【0022】図2(A)を参照するに、前記マイクロ波プラズマ処理装置10は処理容器11と、前記処理容器11内に設けられ、被処理基板12を静電チャックにより保持する好ましくは熱間等方圧加圧法(HIP)により形成されたAINもしくは Al_2O_3 よりなる保持台13とを含み、前記処理容器11内には前記保持台13を囲む空間11Aに等間隔に、すなわち前記保持台13上の被処理基板12に対して略軸対称な関係で少なくとも二箇所、好ましくは三箇所以上に排気ポート11aが形成されている。前記処理容器11は、かかる排気ポート11aを介して不等ピッチ不等傾角スクリーンプン等により、排気・減圧される。

【0023】前記処理容器11は好ましくはAlを含有するオーステナイトステンレス鋼よりなり、内壁面には酸化処理により酸化アルミニウムよりなる保護膜が形成

されている。また前記処理容器11の外壁のうち前記被処理基板12に対応する部分には、HIP法により形成された緻密な Al_2O_3 よりなり多数のノズル開口部14Aを形成されたディスク状のシャワープレート14が、前記外壁の一部として形成される。かかるHIP法により形成された Al_2O_3 シャワープレート14は Y_2O_3 を焼結助剤として使って形成され、気孔率が0.03%以下で実質的に気孔やピンホールを含んでおらず、30W/m・Kに達する、セラミックとしては非常に大きな熱伝導率を有する。

【0024】前記シャワープレート14は前記処理容器11上にシールリング11sを介して装着され、さらに前記シャワープレート14上には同様なHIP処理により形成された緻密な Al_2O_3 よりなるカバープレート15が、シールリング11tを介して設けられている。前記シャワープレート14の前記カバープレート15と接する側には前記ノズル開口部14Aの各々に連通しプラズマガス流路となる凹部14Bが形成されており、前記凹部14Bは前記シャワープレート14の内部に形成され、前記処理容器11の外壁に形成されたプラズマガス入口11pに連通する別のプラズマガス流路14Cに連通している。

【0025】前記シャワープレート14は前記処理容器11の内壁に形成された張り出し部11bにより保持されており、前記張り出し部11bのうち、前記シャワープレート14を保持する部分には異常放電を抑制するために丸みが形成されている。

【0026】そこで、前記プラズマガス入口11pに供給されたArやKr等のプラズマガスは前記シャワープレート14内部の流路14Cおよび14Bを順次通過した後、前記開口部14Aを介して前記シャワープレート14直下の空間11B中に一様に供給される。

【0027】前記カバープレート15上には、前記カバープレート15に密接し図3(B)に示す多数のスロット16a、16bを形成されたディスク状のスロット板16と、前記スロット板16を保持するディスク状のアンテナ本体17と、前記スロット板16と前記アンテナ本体17との間に挟持された Al_2O_3 、 Si_3N_4 、 $SiON$ あるいは SiO_2 等の低損失誘電体材料よりなる遅相板18とにより構成されたラジアルラインスロットアンテナ20が設けられている。前記ラジアルラインアンテナ20は前記処理容器11上にシールリング11uを介して装着されており、前記ラジアルラインスロットアンテナ20には矩形あるいは円形断面を有する同軸導波管21を介して外部のマイクロ波源(図示せず)より周波数が2.45GHzあるいは8.3GHzのマイクロ波が供給される。供給されたマイクロ波は前記スロット板16上のスロット16a、16bから前記カバープレート15およびシャワープレート14を介して前記処理容器11中に放射され、前記シャワープレ

ト14直下の空間11Bにおいて、前記開口部14Aから供給されたプラズマガス中にプラズマを励起する。その際、前記カバープレート15およびシャワープレート14は Al_2O_3 により形成されており、効率的なマイクロ波透過窓として作用する。その際、前記プラズマガス流路14A~14Cにおいてプラズマが励起されるのを回避するため、前記プラズマガスは、前記流路14A~14Cにおいて約6666Pa~13332Pa(約50~100Torr)の圧力に保持される。

10 【0028】前記ラジアルラインスロットアンテナ20と前記カバープレート15との密着性を向上させるため、本実施例のマイクロ波プラズマ処理装置10では前記スロット板16に係合する前記処理容器11の上面の一部にリング状の溝11gが形成されており、かかる溝11gを、これに連通した排気ポート11Gを介して排気することにより、前記スロット板16とカバープレート15との間に形成された隙間を減圧し、大気圧により、前記ラジアルラインスロットアンテナ20を前記カバープレート15にしっかりと押し付けることが可能になる。かかる隙間には、前記スロット板16に形成されたスロット16a、16bが含まれるが、それ以外にもカバープレート15表面の微細な凹凸など様々な理由により隙間が形成されることがある。かかる隙間は、前記ラジアルラインスロットアンテナ20と処理容器11との間のシールリング11uにより封止されている。

【0029】さらに前記排気ポート11Gおよび溝15gを介して前記スロット板16と前記カバープレート15との間の隙間に分子量の小さい不活性気体を充填することにより、前記カバープレート15から前記スロット板16への熱の輸送を促進することができる。かかる不活性気体としては、熱伝導率が大きくしかもイオン化エネルギーの高いHeを使うのが好ましい。前記隙間にHeを充填する場合には、0.8気圧程度の圧力に設定するのが好ましい。図3の構成では、前記溝15gの排気および溝15gへの不活性気体の充填のため、前記排気ポート11Gにバルブ11Vが接続されている。

【0030】前記同軸導波管21Aのうち、外側の導波管21Aは前記ディスク状のアンテナ本体17に接続され、中心導体21Bは、前記遅相板18に形成された開口部を介して前記スロット板16に接続されている。そこで前記同軸導波管21Aに供給されたマイクロ波は、前記アンテナ本体17とスロット板16との間を径方向に進行しながら、前記スロット16a、16bより放射される。

【0031】図2(B)は前記スロット板16上に形成されたスロット16a、16bを示す。

【0032】図2(B)を参照するに、前記スロット16aは同心円状に配列されており、各々のスロット16aに対応して、これに直行するスロット16bが同じく同心円状に形成されている。前記スロット16a、16

bは、前記スロット板16の半径方向に、前記遅相板18により圧縮されたマイクロ波の波長に対応した間隔で形成されており、その結果マイクロ波は前記スロット板16から略平面波となって放射される。その際、前記スロット16aおよび16bを相互の直交する関係で形成しているため、このようにして放射されたマイクロ波は、二つの直交する偏波成分を含む円偏波を形成する。

【0033】本実施例のプラズマ処理装置10では、前記シャワープレート14の前記被処理基板12に対面する側の表面が凹面形状の湾曲面を形成しており、その結果前記シャワープレート14と被処理基板12の表面に一致する平面との間の間隔Dが、前記シャワープレート14の半径方向上外方に向って滑らかに減少する。すなわち前記凹面形状は軸対称な曲面により画成されており、前記間隔Dが前記被処理基板12の周辺部において減少するため、かかる被処理基板周辺部におけるプラズマ密度の低下の問題が解消される。

【0034】これにより、前記プラズマ処理装置10ではドライエッチングなど、低圧環境化で行う必要のあるプラズマ処理を行ってもプラズマ密度がカットオフ密度以下に低下することがなく、プラズマが安定に維持され、被処理基板12周辺部におけるプラズマの消滅やマイクロ波による基板の損傷、あるいは処理速度の低下などの問題を回避することができる。

【0035】さらに図2(A)のプラズマ処理装置10では、前記アンテナ本体17上に、冷却水通路19Aを形成された冷却ブロック19が形成されており、前記冷却ブロック19を前記冷却水通路19A中の冷却水により冷却することにより、前記シャワープレート14に蓄積された熱を、前記ラジアルラインスロットアンテナ20を介して吸収する。前記冷却水通路19Aは前記冷却ブロック19上においてスパイラル状に形成されており、好ましくはH₂ガスをバブリングすることで溶存酸素を排除して且つ酸化還元電位を制御した冷却水が通される。

【0036】また、図2(A)のマイクロ波プラズマ処理装置10では、前記処理容器11中、前記シャワープレート14と前記保持台13上の被処理基板12との間に、前記処理容器11の外壁に設けられた処理ガス注入口11rから処理ガスを供給されこれを多数の処理ガスノズル開口部31B(図3参照)から放出する格子状の処理ガス通路31Aを有する処理ガス供給構造31が設けられ、前記処理ガス供給構造31と前記被処理基板12との間の空間11Cにおいて、所望の均一な基板処理がなされる。かかる基板処理には、プラズマ酸化処理、プラズマ窒化処理、プラズマ酸窒化処理、プラズマCVD処理等が含まれる。また、前記処理ガス供給構造31から前記空間11CにC₄F₈、C₅F₈またはC₄F₆などの解離しやすいフルオロカーボンガスや、F系あるいはCl系等のエッチングガスを供給し、前記保持台

13に高周波電源13Aから高周波電圧を印加することにより、前記被処理基板12に対して反応性イオンエッチングを行うことが可能である。

【0037】本実施例によるマイクロ波プラズマ処理装置10では、前記処理容器11の外壁は150°C程度の温度に加熱しておくことにより、処理容器内壁への反応副生成物等の付着が回避され、一日に一回程度のドライクリーニングを行うことで、定常的に、安定して運転することが可能である。

【0038】図4は、図2(A)の構成における処理ガス供給構造31の構成を示す底面図である。

【0039】図4を参照するに、前記処理ガス供給構造31は例えばMgを含んだAl合金やAl添加ステンレススチール等の導電体より構成されており、前記格子状処理ガス通路31Aは前記処理ガス注入口11rに処理ガス供給ポート31Rにおいて接続され、下面形成された多数の処理ガスノズル開口部31Bから処理ガスを前記空間11Cに均一に放出する。また、前記処理ガス供給構造31には、隣接する処理ガス通路31Aの間にプラズマやプラズマ中に含まれる処理ガスを通過させる開口部31Cを形成されている。前記処理ガス供給構造31をMg含有Al合金により形成する場合には、表面に弗化物膜を形成しておくのが好ましい。また前記処理ガス供給構造31をAl添加ステンレススチールにより形成する場合には、表面に酸化アルミニウムの不動態膜を形成しておくのが望ましい。本発明によるプラズマ処理装置10では、励起される励起されるプラズマ中の電子温度が低いためプラズマの入射エネルギーが小さく、かかる処理ガス供給構造31がスパッタリングされて被処理基板12に金属汚染が生じる問題が回避される。前記処理ガス供給構造31は、アルミナ等のセラミックスにより形成することも可能である。

【0040】前記格子状処理ガス通路31Aおよび処理ガスノズル開口部31Bは図4に破線で示した被処理基板12よりもやや大きい領域をカバーするように設けられている。かかる処理ガス供給構造31を前記シャワープレート14と被処理基板12との間に設けることにより、原料ガスやエッチングガスなどの処理ガスをプラズマ励起し、かかるプラズマ励起された処理ガスにより、均一に処理することが可能になる。

【0041】前記処理ガス供給構造31を金属等の導体により形成する場合には、前記格子状処理ガス通路31A相互の間隔を前記マイクロ波の波長よりも短く設定することにより、前記処理ガス供給構造31はマイクロ波の短絡面を形成する。この場合にはプラズマのマイクロ波励起は前記空間11B中においてのみ生じ、前記被処理基板12の表面を含む空間11Cにおいては前記励起空間11Bから拡散してきたプラズマにより、処理ガスが活性化される。

【0042】本実施例によるマイクロ波プラズマ処理装

置 10 では、処理ガス供給構造 31 を使うことにより処理ガスの供給が一様に制御されるため、処理ガスの被処理基板 12 表面における過剰解離の問題を解消することができ、被処理基板 12 の表面にアスペクト比の大きい構造が形成されている場合でも、所望の基板処理を、かかる高アスペクト構造の奥にまで実施することが可能である。すなわち、マイクロ波プラズマ処理装置 10 は、設計ルールの異なる多数の世代の半導体装置の製造に有効である。

【0043】図 5 のプラズマ処理装置 10 B では、前記処理ガス供給構造 13 から様々な酸化ガスや窒化ガス、原料ガスやエッチングガスを導入することにより、前記被処理基板 12 の表面の全面に、前記被処理基板 12 が大口径基板であっても様々な高品質膜を低温で、均一に堆積し、あるいは前記表面を均一にエッチングすることが可能である。

【0044】図 4 は、前記シャワープレート 14 の様々な変形例によるシャワープレート 14₁~14₄の構成を示す。

【0045】図 4 を参照するに、前記シャワープレート 14₁は前記被処理基板 12 に対面する側に円錐形状の凹面を有するのに対し、前記シャワープレート 14₂は円錐台形状の凹面を有するのがわかる。さらに前記シャワープレート 14₃では円形の凹部が段差形状を形成しており、前記シャワープレート 14₄では複数の段差形状凹部が形成されている。これらの凹部はいずれも前記シャワープレートの中心軸に対して軸対称に形成されており、前記中心軸の回りで均一な処理が保証される。

【第 2 実施例】図 5 は、本発明の第 2 実施例によるプラズマ処理装置 10 A の構成を示す。ただし図 5 中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【0046】図 5 を参照するに、プラズマ処理装置 10 A は前記プラズマ処理装置 10 と類似した構成を有し、前記被処理基板 12 とシャワープレート 14 との間隔 D が、前記シャワープレート 14 の半径方向上外方に向けて減少するが、前記プラズマ処理装置 10 A では前記処理ガス供給部 13 が撤去されている。

【0047】かかる構成のプラズマ処理装置 10 B では、前記下段シャワープレート 31 が省略されているためプラズマガスとは別に処理ガスを供給して成膜やエッチングを行うことはできないが、前記シャワープレート 14 からプラズマガスとともに酸化ガスあるいは窒化ガスを供給することにより、被処理基板表面に酸化膜や窒化膜、あるいは酸窒化膜を形成することが可能である。本実施例のプラズマ処理装置 10 A では、構成が簡素化され、製造費用を大きく低減することが可能である。

【0048】本実施例においても、前記間隔 D が被処理基板 12 の周辺部において減少するため、被処理基板 12 周辺部におけるプラズマ密度の低下が補償され、プラ

ズマが安定に維持され、被処理基板 12 周辺部におけるプラズマの消滅やマイクロ波による基板の損傷、あるいは処理速度の低下などの問題を回避することができる。

【0049】図 5 のプラズマ処理装置 10 A では、特に被処理基板 12 の酸化処理や窒化処理、酸窒化処理などを、前記被処理基板が大口径基板であっても、低温で、効率的に、しかも均一に、安い費用で行うことが可能である。

【0050】本実施例においても、前記シャワープレート 14 の代わりに図 4 で説明したシャワープレート 14₁~14₃を使うことが可能である。

【第 3 実施例】図 6 は本発明の第 3 実施例によるプラズマ処理装置 10 B の構成を示す。ただし図 6 中、先に説明した部分に対応する部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【0051】図 6 を参照するに、本実施例においては前記シャワープレート 14 の代わりに焼結アルミナなど、多孔質セラミックよりなるシャワープレート 14 P を使う。

【0052】前記シャワープレート 14 P 中にはシャワープレート 14 中におけるようなシャワー開口部 14 A は形成されていないが、プラズマガス供給ポート 11 P に接続されたプラズマガス供給路 14 C および 14 B が形成されており、供給されたプラズマガスは、前記プラズマガス供給路 14 B から前記多孔質シャワープレート 14 P 中の気孔を通して、前記空間 11 B へと、一様に放出される。

【0053】本実施例においても、前記シャワープレート 14 P の下面は軸対称な凹面を形成し、前記下面と被処理基板 12 の表面との間隔 D は、被処理基板 12 の周辺部に向けて減少する。このため、図 6 の構成においては前記被処理基板 12 の周辺部におけるプラズマ密度の低下が補償され、プラズマが安定に維持され、被処理基板 12 周辺部におけるプラズマの消滅やマイクロ波による基板の損傷、あるいは処理速度の低下などの問題を回避することができる。

【0054】図 6 のプラズマ処理装置 10 B では、前記処理ガス供給構造 13 から様々な酸化ガスや窒化ガス、原料ガスやエッチングガスを導入することにより、前記被処理基板 12 の表面の全面に様々な高品質膜を低温で、均一に堆積し、あるいは前記表面を均一にエッチングすることが可能である。

【0055】本実施例においても、前記多孔質シャワープレート 14 P の凹面として、図 4 に示した様々な凹面を形成することができる。

【第 4 実施例】図 7 は、本発明の第 4 実施例によるプラズマ処理装置 10 C の構成を示す。ただし図 7 中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【0056】図 7 を参照するに、本実施例のプラズマ処

理装置 10C は、先のプラズマ処理装置 10B と同様な構成を有するが、前記下段シャワープレート 31 が撤去されている。また、前記シャワープレート 14 を保持する前記張り出し部 11b の全面に丸みが形成されている。

【0057】かかる構成のプラズマ処理装置 10C では、前記下段シャワープレート 31 が省略されているためプラズマガスとは別に処理ガスを供給して成膜やエッチングを行うことはできないが、前記シャワープレート 14 からプラズマガスとともに酸化ガスあるいは窒化ガスを供給することにより、被処理基板表面に酸化膜や窒化膜、あるいは酸窒化膜を形成することが可能である。

【0058】本実施例においても、前記シャワープレート 14P の下面は軸対称な凹面を形成し、前記下面と被処理基板 12 の表面との間の間隔 D は、被処理基板 12 の周辺部に向って減少する。このため、図 7 の構成においては前記被処理基板 12 の周辺部におけるプラズマ密度の低下が補償され、プラズマが安定に維持され、被処理基板 12 周辺部におけるプラズマの消滅やマイクロ波による基板の損傷、あるいは処理速度の低下などの問題を回避することができる。

【0059】図 7 のプラズマ処理装置 10C では、特に被処理基板 12 の酸化処理や窒化処理、酸窒化処理などを、前記被処理基板が大口径基板であっても、低温で、効率的に、しかも均一に、安い費用で行うことが可能である。

【0060】本実施例のシャワープレート 14P においても、図 4 に示した様々な凹面を使うことができる。

【第 5 実施例】図 8 は、本発明の第 5 実施例によるプラズマ処理装置 10D の構成を示す。ただし図 8 中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【0061】図 8 を参照するに、実施例においては図 6 の実施例における多孔質シャワープレート 14P およびカバープレート 15 が撤去され、かわりに前記被処理基板 12 に対面する側に凹面を有する緻密なセラミックよりなるマイクロ波透過窓 14Q が設けられる。前記マイクロ波透過窓 14 は、誘電損失の少ない材料、例えば HIP 処理したアルミナなどにより形成することができる。

【0062】図 8 の構成では、前記マイクロ波透過窓 14Q は前記カバープレート 15 の機能を果たすが、図 6 の実施例におけるプラズマガス通路 14C やこれに連通する開口部 14A は形成されておらず、別に処理容器 11 の外壁に、管 11P よりなるプラズマガス導入部が形成されている。また前記マイクロ波透過窓 14Q 上にはラジアルラインスロットアンテナ 20 が密接して設けられている。前記プラズマガス導入管 11P は、前記被処理基板 12 の周囲に対称的に配設されるのが好ましい。

【0063】かかる構成では、前記マイクロ波透過窓 1

4Q の下面は軸対称な凹面を形成し、前記下面と被処理基板 12 の表面との間の間隔 D は、被処理基板 12 の周辺部に向って減少する。このため、図 8 の構成においては前記被処理基板 12 の周辺部におけるプラズマ密度の低下が補償され、プラズマが安定に維持され、被処理基板 12 周辺部におけるプラズマの消滅やマイクロ波による基板の損傷、あるいは処理速度の低下などの問題を回避することができる。

【0064】図 8 のプラズマ処理装置 10D では、特に被処理基板 12 の酸化処理や窒化処理、酸窒化処理などを、前記被処理基板が大口径基板であっても、低温で、効率的に、しかも均一に、安い費用で行うことが可能である。特にプラズマガスを導入するための構成が簡素化され、費用の低減に寄与する。

【0065】本実施例のプラズマ透過窓においても、図 4 に示した様々な凹面を使うことができる。

【第 6 実施例】図 9 は、本発明の第 6 実施例によるプラズマ処理装置 10E の構成を示す。ただし図 9 中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【0066】図 9 を参照するに、本実施例のプラズマ処理装置 10E は先のプラズマ処理装置 10D と類似した構成を有するが、前記処理ガス供給構造 31 が撤去されている。

【0067】かかる構成によれば、前記プラズマガス導入管 11P より Kr や Ar などの不活性ガスと O₂ ガスなどの酸化性ガスあるいは NH₃ ガスあるいは N₂ と H₂ の混合ガスなど窒化性ガスを供給することにより、前記被処理基板 12 の表面に高品質の酸化膜や窒化膜、あるいは酸窒化膜を、低温で効率よく形成することが可能になる。

【0068】その際、本実施例では前記マイクロ波透過窓 14Q の下面と被処理基板 12 との間の間隔 D が前記被処理基板 12 の周辺部において減少しているため、前記被処理基板 12 周辺部において十分なプラズマ密度が確保され、前記被処理基板 12 の処理が、均一に行われる。

【0069】本実施例のマイクロ波窓 14Q においても、図 4 に示した様々な凹面を使うことができる。

【第 7 実施例】図 10 は、本発明の第 7 実施例によるプラズマ処理装置 10F の構成を示す。ただし図 10 中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【0070】図 10 を参照するに、本実施例では前記誘電体窓 14Q の代わりに一様な厚さの誘電体窓 14Q' により構成されている。

【0071】かかる誘電体窓 14Q' では、凹面を形成する下面に対応して、上面が凸面を形成する。そこで図 10 のプラズマ処理装置 10F では、平坦な前記ラジアルラインスロットアンテナ 20 の代わりに前記凸面に対応

した凹面を有するラジアルラインスロットアンテナ 20' を使う。すなわち、前記ラジアルラインスロットアンテナ 20' は凹面を形成するスロット板 16' を有し、前記スロット板 16' 上には凹面を形成するアンテナ本体 17' が、間に湾曲した遅相板 18' を介して装着されている。

【0072】かかる構成のプラズマ処理装置 10F においても、前記被処理基板 12 の周辺部におけるプラズマ密度の低下を補償でき、前記処理ガス供給部 31 より様々な処理ガスを供給することにより、被処理基板 12 の全面にわたり、酸化や窒化、酸窒化、さらに様々な層の堆積およびエッチングなど、様々なプラズマ処理を、均一に、かつ安定に行うことが可能になる。

【第 8 実施例】図 11 は、本発明の第 8 実施例によるプラズマ処理装置 10G の構成を示す。ただし図 11 中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【0073】図 11 を参照するに、本実施例のプラズマ処理装置 10G は先の実施例のプラズマ処理装置 10F と同様な構成を有するが、本実施例では前記処理ガス供給部 31 が撤去されている。

【0074】かかる構成のプラズマ処理装置 10G においても、前記被処理基板 12 の周辺部におけるプラズマ密度の低下を補償でき、被処理基板 12 の全面にわたり、酸化や窒化、酸窒化などの均一なプラズマ処理を安定に行うことが可能になる。

【0075】本発明は上記特定の実施例に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載した本発明の要旨内において様々な変形・変更が可能である。

【0076】

【発明の効果】本発明によれば、被処理基板の周辺部におけるプラズマ密度の低下を補償でき、低圧処理においてもプラズマが維持され、安定なプラズマ処理が可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】(A)、(B) は、従来のラジアルラインスロットアンテナを使ったマイクロ波プラズマ処理装置の構成を示す図である。

【図 2】(A)、(B) は、本発明の第 1 実施例によるプラズマ処理装置の構成を示す図である。

【図 3】図 2 (A)、(B) のプラズマ処理装置で使われる処理ガス供給構造の構成を示す底面図である。

【図 4】図 2 (A)、(B) のプラズマ処理装置の様々な変形例を示す図である。

【図 5】本発明の第 2 実施例によるプラズマ処理装置の構成を示す図である。

【図 6】本発明の第 3 実施例によるプラズマ処理装置の

構成を示す図である。

【図 7】本発明の第 4 実施例によるプラズマ処理装置の構成を示す図である。

【図 8】本発明の第 5 実施例によるプラズマ処理装置の構成を示す図である。

【図 9】本発明の第 6 実施例によるプラズマ処理装置の構成を示す図である。

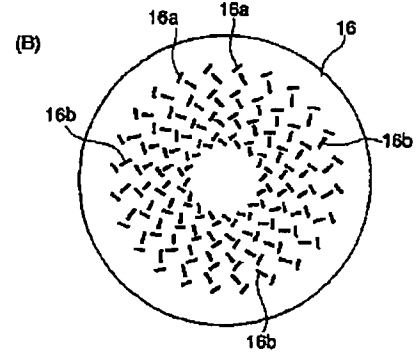
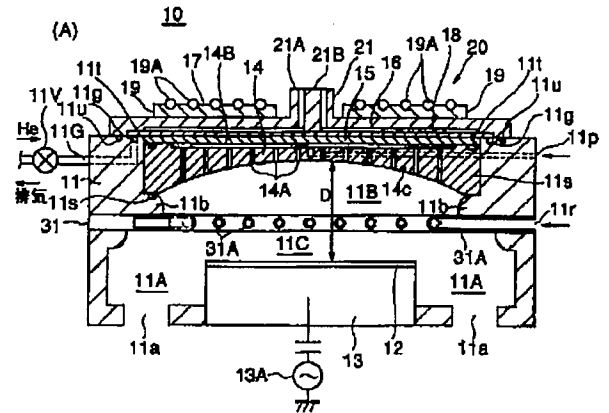
【図 10】本発明の第 7 実施例によるプラズマ処理装置の構成を示す図である。

【図 11】本発明の第 8 実施例によるプラズマ処理装置の構成を示す図である。

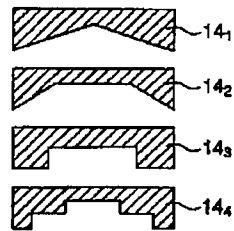
【符号の説明】

10, 10A~10G, 100 プラズマ処理装置
 11 処理容器
 11a 排気ポート
 11b 張り出し部
 11p プラズマガス供給ポート
 11r 処理ガス供給ポート
 11A, 11B, 11C 空間
 11G 減圧および He 供給ポート
 11P プラズマガス導入口
 12 被処理基板
 13 保持台
 13A 高周波電源
 14 シャワープレート
 14P 多孔質シャワープレート
 14A プラズマガスノズル開口部
 14B, 14C プラズマガス通路
 14Q, 14Q' マイクロ波透過窓
 15 カバープレート
 16, 16' スロット板
 16a, 16b スロット開口部
 17, 17' アンテナ本体
 18, 18' 遅波板
 18A, 18B リング状部材
 19 冷却ブロック
 19A 冷却水通路
 20, 20' ラジアルラインアンテナ
 21 同軸導波管
 21A 外側導波管
 21B 内側給電線
 31 処理ガス供給構造
 31A 処理ガス通路
 31B 処理ガスノズル
 31C プラズマ拡散通路
 31R 処理ガス供給ポート

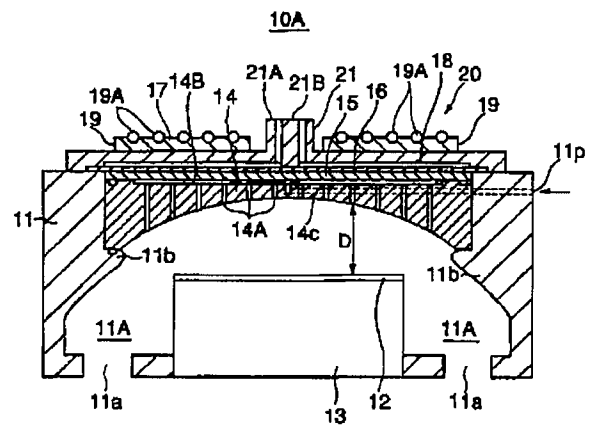
【図 2】



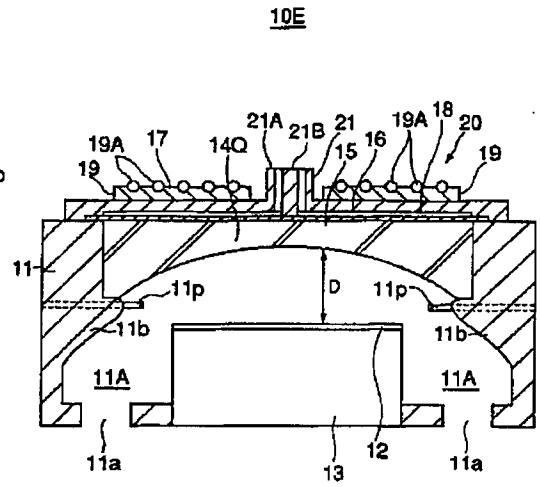
【図 4】



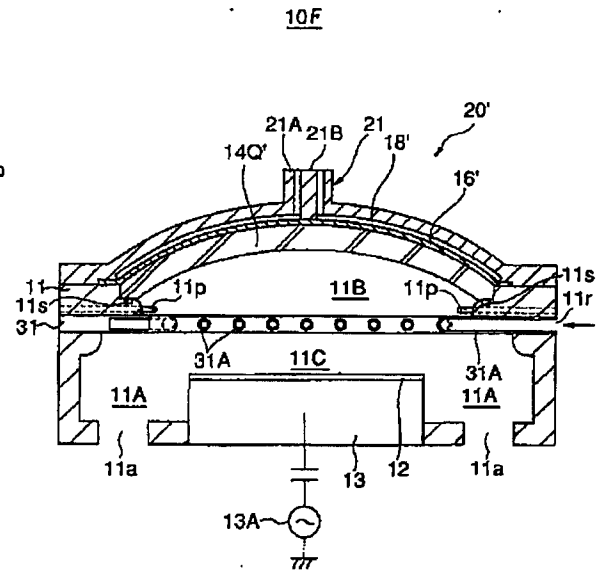
【図 5】



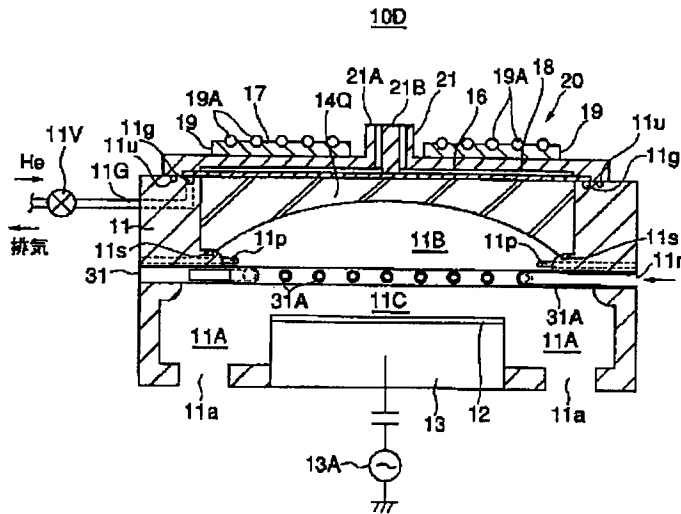
【圖 9】



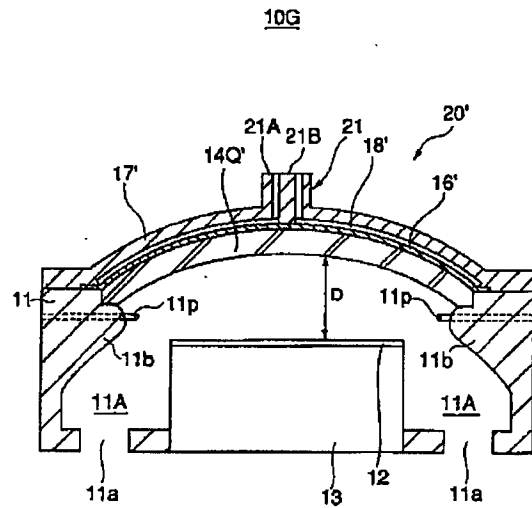
【図 10】



【図8】



【図11】



フロントページの続き

(72) 発明者 平山 昌樹
宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 東北大学
内
(72) 発明者 須川 成利
宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 東北大学
内
(72) 発明者 後藤 哲也
宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 東北大学
内

Fターム(参考) 4G075 AA24 AA42 BC04 BC06 BD14
CA26 CA47 CA63 CA65 DA02
EA06 EB01 EC01 EC13 EC30
EE01 FB02 FB04 FC01
4K030 BA38 BA42 EA05 FA01 JA03
KA30 KA46 LA18
5F004 AA01 BA20 BB11 BB14 BB18
BB28 BC08 BD04 DA00 DA01
DA02 DA03 DA04 DA05 DA11
DA12 DA13 DA14 DA15 DA16
DA17 DA18 DA19 DA20 DA29
5F045 AA09 AB32 AB33 AB34 AE23
AE25 BB02 DP03 DQ10 EF04
EF05 EH02 EH03